

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

**Evaluación de la diversidad taxonómica en sistemas agroforestales y su relación
con los servicios ecosistémicos de fincas participantes del programa MAP-Noruega
en los territorios Trifinio y NicaCentral**

Por

Mayra Alejandra Ospina Pedraza

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de
Bosques Naturales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2017

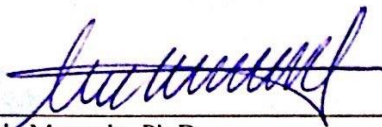
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE
BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:



Fernando Casanoves, Ph.D.
Codirector de tesis

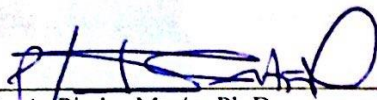


Leida Mercado, Ph.D.
Codirectora de tesis



Róger Villalobos, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Mirna Barrios, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Mario A. Piedra Marín, Ph.D.
Decano Programa de Posgrado

Mayra Alejandra Ospina Pedraza.

Mayra Alejandra Ospina Pedraza
Candidata

AGRADECIMIENTOS

Al programa MAP-Noruega, por financiar mis dos años de estudio de Maestría.

A los equipos de trabajo en los territorios Trifinio y NicaCentral, por permitirme aprender de su experiencia de trabajo y apoyarme en la fase de campo.

A los miembros de mi comité, por las revisiones y recomendaciones realizadas durante el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, por apoyarme en todo momento.

A Fernando, por ser mi guía en el camino de la investigación.

A mis compañeros de oficina, Sergio y Eduardo, por los cafés compartidos y ayudarme a resolver las dudas que se presentaron en el camino.

A Pacho, por las charlas que me ayudaron a continuar con el trabajo y las promesas de enseñanza que aún están por cumplir.

A las chicas boscosas, sobre todo a las babies, que siempre me dieron la mano y me apoyaron en todas las etapas de la Maestría.

Al grupo de Janainos que me aceptaron en su familia y me ofrecieron el calor del hogar que necesitaba.

A Martín Elías Skywalker, Oriana, K. Alga, Roberto, Gracia, Mauricio, La llamita, Mati, K. Feito-sa, Suelen, Samuel, Xo, Sara, Eli, Angie y Meli.

A todas las personas que pusieron su granito de arena para la conclusión de este trabajo.

A todas las pikis sueltas y el pikis principal, por enseñarme que cuando una puerta se cierra se abre una ventana.

A Oscar y el cojudo, por compartir caminatas en la noche.

A Taco y Joey, por darme alegría y momentos inolvidables.

Por último, quiero agradecer a este país que me abrió las puertas y me permitió conocer personas y culturas que ahora hacen parte de mí.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
CONTENIDO.....	IV
RESUMEN GENERAL	VI
GENERAL SUMMARY	VII
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	X
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio.....	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Preguntas de investigación.....	3
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Sistemas agroforestales.....	4
2.1.1 Sistemas silvopastoriles.....	4
2.1.2 SAF con café y cacao	4
2.2 Servicios ecosistémicos	4
2.2.1 La biodiversidad y los servicios ecosistémicos	5
2.2.2 Sistemas agroforestales y SE.....	5
3 BIBLIOGRAFÍA.....	7
4 ARTÍCULO I CAMBIOS EN LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ESPECIES ARBÓREAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES, DURANTE EL PERIODO DE INFLUENCIA 2013 -2016 DEL PROGRAMA MAP-NORUEGA.....	10
4.1 Introducción	10
4.2 Materiales y métodos	11
4.2.1 Área de estudio	11
4.2.2 Metodología.....	12
4.3 Resultados	13
4.3.1 Descripción general	13
4.3.2 Evaluación de cambios en la riqueza y abundancia de especies arbóreas	15
4.4 Discusión	23
4.4.1 Cambios en la riqueza y abundancia de especies arbóreas.....	23
4.4.2 Diversidad y servicios ecosistémicos	23

4.4.3	Cambios en la riqueza y abundancia y su relación con las características socioeconómicas	24
4.5	Conclusiones	25
4.6	Recomendaciones	25
4.7	Bibliografía	26

RESUMEN GENERAL

Los sistemas agroforestales son una estrategia para enfrentar el cambio climático, las necesidades de producción y la conservación del ambiente. La complejidad que tienen estos sistemas de producción y las interacciones que se generan entre sus componentes, árboles-cultivos, generan diversos servicios que aumentan la eficiencia de los sistemas y generan beneficios económicos, sociales y ambientales. Este trabajo pretende estudiar la provisión de servicios ecosistémicos, a través de la diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café, cacao, pasturas y granos básicos en los territorios de Trifinio y NicaCentral, y evaluar el efecto del cambio ocurrido durante dos momentos de medición. El estudio se realizó en fincas de pequeños productores del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP-Noruega), en donde se realizaron inventarios forestales en los principales sistemas agroforestales en los años 2013 y 2016. Se evaluaron los cambios en la riqueza y abundancia de especies arbóreas entre los años de medición y las diferencias entre los tipos de sistemas agroforestales y los territorios. A través de información obtenida a partir de encuesta, se buscó explicar las diferencias en los cambios y su relación con variables socioeconómicas, e identificar la influencia que tienen los productores en determinar la composición y estructura de los sistemas agroforestales.

GENERAL SUMMARY

Agroforestry systems are a strategy for dealing with climate change, production needs and environmental conservation. The complexity of these production systems and the interactions generated between their components, trees and crops, generate various services that increase the efficiency of the systems and generate economic, social and environmental benefits. This work aims to study the provision of ecosystem services through tree diversity in agroforestry systems of coffee, cacao, pastures and basic grains in the territories of Trifinio and NicaCentral and to evaluate the effect of the change occurred during two measurement moments. The study was carried out on smallholder farms of the Mesoamerican Agro-Environmental Program (MAP-Noruega), where forest inventories were carried out in the main agroforestry systems in the years 2013 and 2016. Changes in the richness and abundance of tree species between the years of measurement and the differences between the types of agroforestry systems and the territories. Through information obtained from the survey we sought to explain the differences in the changes and their relation with socioeconomic variables, and to identify the influence that the producers have in determining the composition and structure of the agroforestry systems.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Número de familias para cuyas fincas se hizo el estudio de biodiversidad en sistemas agroforestales, por territorio.....	14
Cuadro 2. Número de especies con abundancia menores o iguales a 5 individuos.....	17
Cuadro 3. Comparación de medias de abundancia de árboles entre tres tipos de sistema agroforestal en fincas de dos territorios Trifinio y NicaCentral.....	18
Cuadro 4. Comparación de medias para la abundancia estimada de árboles en tres tipos de sistemas agroforestales en los territorios Trifinio y NicaCentral entre las mediciones de 2013 y 2016	18
Cuadro 5. Comparación de medias de riqueza estimada de especies arbóreas para seis combinaciones de territorio y sistema agroforestal en dos sitios de Centroamérica.....	18
Cuadro 6. Frecuencias relativas por criterio en cada sistema para el territorio NicaCentral.....	20
Cuadro 7. Frecuencias relativas por criterio de selección de especies en cada sistema para el territorio Trifinio.....	21
Cuadro 8. Comparación de medias de riqueza arbórea estimada por tipo de manejo....	21
Cuadro 9. Comparación de medias de abundancia estimada por tipo de manejo	22
Cuadro 10. Valores de probabilidad para la asociación entre categorías de cambio (positivo, negativo y no cambió) y las variables socioeconómicas para abundancia y riqueza (prueba chi-cuadrado)	22
Cuadro 11. Frecuencias relativas por tipo de cambio en la riqueza (No cambio, cambio positivo o cambio negativo) y si realiza manejo del componente arbóreo o no.....	22
Cuadro 12. Frecuencias relativas por tipo de cambio en la abundancia (No cambio, cambio positivo o cambio negativo) y si realiza manejo del componente arbóreo o no	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio de la biodiversidad en sistemas agroforestales, y de incidencia del MAP-Noruega: Trifinio y NicaCentral.....	12
Figura 2. Número de árboles en los diferentes sistemas agroforestales en cada territorio y en los diferentes años de medición.....	14
Figura 3. Número de especies totales registradas por territorio y sistema agroforestal.	15
Figura 4. Curva rango-abundancia para los años 2013 y 2016 para los sistemas café y pasturas en NicaCentral y café y granos básicos en Trifinio.....	16
Figura 5. Fuente de origen de las nuevas plantas en los sistemas agroforestales pasturas, café y granos básicos en los territorios Trifinio y NicaCentral.....	19
Figura 6. Prueba de potencia para evaluar la capacidad de encontrar diferencias significativas.....	19
Figura 7. Análisis de correspondencia para las variables criterios de selección de especies, territorio y sistema. Inercia total explicada 45.13 %.....	20

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

SAF: Sistemas agroforestales

MAP-Noruega: Programa Ambiental Mesoamericano

GAE: Gases Efecto Invernadero

DAP: diámetro a la altura del pecho

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

1 INTRODUCCIÓN

En el último siglo, el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas ha aumentado las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), acelerando la pérdida de la biodiversidad y el desbalance del ciclo de nutrientes e hídrico. Generando la alteración en los procesos ecosistémicos y afectando la capacidad de los ecosistemas de satisfacer las necesidades humanas.

Uno de los aspectos más importantes en la emisión de GEI es el cambio de uso del suelo de bosque a otros usos y el uso de fertilizantes químicos para la producción agropecuaria (FAO 2014). Se estima que los cambios de cobertura de bosque a áreas de otros usos han incrementado en un 33 % el dióxido de carbono en la atmósfera desde 1850, y es uno de los principales factores de pérdida de la diversidad biológica (Sherbinin 2002). A pesar de las diferentes estrategias y convenios firmados por distintos países, con el fin de disminuir las emisiones de GEI y promover la conservación de la biodiversidad, el aumento poblacional, el crecimiento de la clase media y la necesidad de aumentar la producción de alimentos y materia prima han impulsado el crecimiento de las áreas destinadas a la producción agropecuaria (FAO 2015).

Según el índice de *Global Climate Risk Index* (Kreft *et al.* 2016), Honduras, Nicaragua y Guatemala han sido identificados como tres de los diez países más afectados en el periodo 1995-2014 por el cambio climático, además de ser los países de Centroamérica con mayor exposición y vulnerabilidad a este. La vulnerabilidad y el alto porcentaje de la población en estado de pobreza hacen necesaria la búsqueda de alternativas que permitan el desarrollo sostenible.

En la actualidad, existen dos estrategias para la disminución de GEI: reducción de emisiones antropogénicas o creación y mejoramiento de sumideros de carbono (Andrade y Ibrahim 2003, IPCC 2007). La forestería es una de las mejores actividades para la captura y almacenamiento de carbono (IPCC 2007, Murthy *et al.* 2013), debido a la capacidad que tienen los árboles de capturar carbono a través del proceso de fotosíntesis y de ayudar en el ciclaje de nutrientes, lo que permite la acumulación de carbono en la vegetación y en el suelo.

Los sistemas agroforestales combinan la producción agropecuaria con especies arbóreas y su uso se enfocó, inicialmente, en la búsqueda de estrategias para mantener la fertilidad de los suelos en sistemas de cultivos al usar especies fijadoras de nitrógeno (Fournier 1981). Los sistemas agroforestales ofrecen más beneficios ambientales que los cultivos de una sola especie, además de responder a las necesidades de producción agropecuaria (Beer *et al.* 2003), proveen diversos servicios ecosistémicos como la conservación de los suelos, el mejoramiento del ciclaje de nutrientes, la regulación del ciclo hídrico y el control de plagas y enfermedades. También generan beneficios económicos gracias a los productos secundarios como madera, leña y frutos.

Algunos estudios como los de Beer (1980), Forman (1997) y Harvey *et al.* (2006) han demostrado la importancia de los sistemas agroforestales en la conservación de la biodiversidad y la producción de servicios ecosistémicos. Se estima que un 35 % del *stock* de carbono original podría ser recuperado si se estableciera un sistema agroforestal una vez es talado el bosque (Sánchez 2000).

Los SAF, además de ofrecer beneficios económicos y ambientales, son potenciales sumideros de carbono, los cuales deben ser tenidos en cuenta al momento de diseñar estrategias de captura y almacenamiento (Nair 1998, Andrade 1999, Oelbermann *et al.* 2004). Para el trópico se ha estimado que los sistemas agroforestales pueden capturar y almacenar 2.1×10^9 Mg C año⁻¹ (Oelbermann *et al.* 2004). Sin embargo, y a pesar de los diversos beneficios que ofrecen los sistemas agroforestales, aún se presentan muchas dificultades para realizar el cambio a este tipo de manejo (Nair 2011). El costo de establecimiento, falta de mano de obra, falta de capacitación y el temor de los productores de disminuir la producción debido al efecto de la sombra de los árboles y competencia por los nutrientes del suelo, entre otros factores, han limitado el establecimiento de SAF. En un estudio realizado comparando dos sistemas silvopastoriles con un sistema de pasturas a pleno sol, se demostró que no existen diferencias en la producción y ganancia de peso en temporada de lluvia en los diferentes tipos de sistema, pero en temporada seca se obtuvo una mayor ganancia de peso bajo el sistema silvopastoril (Paciullo *et al.* 2004 citado por Nair *et al.* 2011).

El Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP-Noruega) ha trabajado desde junio de 2013 para contribuir en la búsqueda de soluciones de los problemas que afectan la región Mesoamericana. Sus objetivos principales son disminuir la pobreza, la inequidad de género, la inseguridad alimentaria y nutricional, la degradación de los servicios ecosistémicos y la vulnerabilidad ante el cambio climático. Para cumplir con sus objetivos ha realizado capacitaciones a través de escuelas de campo, fortaleciendo los conocimientos y habilidades prácticas de los productores y promoviendo tecnologías agroecológicas y agroforestales. Esto ha fortalecido las capacidades de las familias en la toma de decisiones para la planificación de las actividades en la finca y la diversificación en la producción de los huertos caseros y cultivos agrícolas, fortaleciendo la seguridad alimentaria y nutricional, mejorando su capital natural, humano y social, y disminuyendo la vulnerabilidad ante el cambio climático.

Otras de las actividades realizadas por MAP-Noruega en busca del cumplimiento de sus objetivos han sido: diversificación de la producción a través del suministro de semillas, plantas frutales y forestales, capacitaciones en el uso y manejo eficiente del recurso hídrico, fortalecimiento de las cadenas de valor priorizadas en los territorios, asistencia técnica en las fincas y organizaciones, desarrollo de planes de finca y establecimiento de alianzas estratégicas (MAP 2015).

En este trabajo se evaluó el cambio en la riqueza y abundancia de especies forestales en los sistemas agroforestales y se estudió su relación con variables socioeconómicas y ambientales.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Describir y comparar los cambios en la riqueza y abundancia de especies arbóreas en tres sistemas agroforestales (pasturas, café y granos básicos) de pequeñas fincas de productores de los territorios Trifinio y NicaCentral.

1.1.2 Objetivos específicos

- a. Estimar la riqueza y abundancia arbórea en los sistemas agroforestales de los territorios Trifinio y NicaCentral.
- b. Evaluar el cambio en la riqueza y abundancia arbórea en los sistemas agroforestales de los territorios Trifinio y NicaCentral producido durante el periodo de influencia del MAP-Noruega en la región.
- c. Identificar los factores ambientales y socioeconómicos asociados con la riqueza y abundancia de especies arbóreas en los sistemas agroforestales de los territorios Trifinio y NicaCentral.

1.2 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los factores ambientales y socioeconómicos que más influyeron en el cambio en la riqueza y abundancia de especies arbóreas en los sistemas agroforestales?
- ¿Qué beneficios socioeconómicos y ambientales generan los sistemas agroforestales a las familias?

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales (SAF) son una práctica tradicional de cultivo de la tierra que intenta responder a las necesidades de producción en distintos ambientes, optimizando los beneficios socioeconómicos y ambientales (Somarriba 1990, José y Shanmugaratnan 1993). Los SAF son sistemas productivos diversificados, en los que se combinan árboles forestales con ganadería o cultivos agrícolas, con el objetivo de simular la complejidad y estructura del bosque, y así obtener beneficios como la disminución de la vulnerabilidad al cambio climático, optimización en el uso de los recursos, aumento en el potencial de captura de carbono, protección del suelo, conservación de la biodiversidad, protección contra plagas y enfermedades y obtención de productos secundarios (leña, madera, alimento), entre otros (Fournier 1981, Nair 1993).

La forma más fácil de clasificar los SAF es con base en el arreglo temporal y espacial que estos tienen, la importancia y función de cada componente, los objetivos de producción, y las características socioeconómicas de las familias productoras. Nair (1993) propone una clasificación de los SAF enfocada en bases estructurales, bases funcionales, bases socioeconómicas y bases ecológicas. Los principales SAF presentes en los territorios de Trifinio y NicaCentral son los siguientes:

2.1.1 *Sistemas silvopastoriles*

Los sistemas silvopastoriles son arreglos que combinan pasturas, árboles o bancos forrajeros para la producción ganadera. Este tipo de sistemas se caracteriza por combinar dos tipos de producción (i.e. ganadera y forestal), o por implementar distintas prácticas de manejo relacionadas con especies arbóreas o arbustivas para proveer alimento a los animales, disminuir el estrés calórico, la erosión del suelo y contribuir en el ciclaje de nutrientes.

2.1.2 *SAF con café y cacao*

En estos sistemas el componente arbóreo es utilizado para producir sombra y protección al cultivo principal. En Nicaragua, se identifican dos tipos de manejo: tradicional o sin manejo y con manejo de sombra. La elección del tipo de manejo y las especies asociadas al cultivo está basada en las características ecológicas del cultivo principal, características socioeconómicas, condiciones ambientales y necesidades nutricionales del cultivo principal.

2.2 Servicios ecosistémicos

Son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (MEA 2005), dependen de la calidad ambiental y afectan directa o indirectamente la calidad de vida de las personas y comunidades (OEA 1987). Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, los servicios ecosistémicos (SE) se clasifican en cuatro grupos (MEA 2005):

- Servicios de aprovisionamiento: bienes que pueden ser aprovechados directamente, como los alimentos, maderas y fibras.
- Servicios de regulación: bienes indirectos, derivados de distintos procesos ecológicos, como la regulación del clima, regulación hídrica, control de erosión, calidad del aire, etc.

- Servicios culturales: beneficios intangibles que mejoran la calidad de vida, como los valores espirituales, estéticos, religiosos, educación, turismo y recreación.
- Servicios de soporte: bienes indirectos de los cuales dependen la producción de los otros servicios ecosistémicos, como la formación de suelo, ciclaje de nutrientes, producción primaria, etc.

Muchos estudios han identificado que la calidad y la sostenibilidad de los SE dependen de qué tan diversos son los ecosistemas. El papel principal de la biodiversidad es facilitar el funcionamiento y desarrollo de los procesos ecosistémicos, que posteriormente, serán la base de producción de SE (MEA 2005, Polania *et al.* 2011). Es esta relación entre la biodiversidad y los SE la que representa una de las principales razones para la conservación de la biodiversidad (MEA 2005).

2.2.1 La biodiversidad y los servicios ecosistémicos

Existen varias razones por las que se tiene interés en la biodiversidad y su medición. Una de estas razones es el estudio de los cambios espaciales y temporales, y otra es su uso como indicador del bienestar de los sistemas (Magurran 1988). La pérdida de la biodiversidad afecta directamente la capacidad de los ecosistemas de proveer SE (Harvey *et al.* 2006). En diferentes estudios, se ha encontrado una relación positiva entre el potencial de secuestro de carbono, ciclaje de nutrientes, regulación del ciclo hidrológico y el control de plagas y enfermedades con los SAF (Navas *et al.* 2008, De Aquino *et al.* 2008, Lorenzo *et al.* 2013, Sadof *et al.* 2014, Poorter *et al.* 2015).

Se han realizado distintos esfuerzos para conservar la biodiversidad, utilizando principalmente la información sobre la distribución de las especies y su nivel de endemismo, con el fin de identificar áreas prioritarias para la conservación. A partir de los años 90, se ha modificado el enfoque para la conservación de la biodiversidad, dirigiendo y generalizando los estudios a nivel de paisaje, reconociendo que la conservación de la biodiversidad no sólo depende de los elementos naturales, sino también del efecto del hombre y sus actividades (Redford *et al.* 2003).

En estudios realizados sobre los SAF utilizados en regiones tropicales y subtropicales, se ha encontrado que hay una relación determinante entre los SAF presentes y las características ecológicas de cada región (Nair 1989). Otros factores que también son determinantes son los socioeconómicos, que están relacionados con la complejidad del sistema (Nair 1993). En este trabajo, se usó el enfoque a nivel de finca para la evaluación de la relación entre los índices de diversidad y las variables ambientales y socioeconómicas.

2.2.2 Sistemas agroforestales y SE

Los bosques, las plantaciones forestales y los SAF han sido estudiados con el objetivo de identificar y valorar los SE que producen (Medina y Muñoz 2006). En el caso de los SAF, el principal producto es el cultivo primario. Sin embargo, también se pueden obtener beneficios secundarios directos como la madera, la leña y el alimento, que aportan a los ingresos económicos y mejoran la calidad de vida de las personas (Rapidel 2015). También existe otra serie de beneficios que se pueden obtener de los SAF, beneficios indirectos, que en algunos casos no pueden ser valorados económicamente, pero de los cuales depende la calidad y sostenibilidad de la producción de los beneficios mencionados anteriormente (José y Shanmugaratnan 1993, Beer *et al.* 1998, Polania *et al.* 2011, Rapidel 2015). Entre los beneficios indirectos que se pueden obtener están:

- Control del clima: reservas de dióxido de carbono, disminución de la fertilización nitrogenada gracias a especies fijadoras de nitrógeno.
- Regulación hídrica y control de la erosión: el aumento en la producción de hojarasca y los diferentes estratos ayudan a la infiltración del agua y disminuye la agresividad de las lluvias, además de disminuir o evitar la erosión en el suelo.
- Control de enfermedades y plagas: gracias a la diversidad biológica y la complejidad que presentan los SAF, hay una mayor regulación de poblaciones de insectos y hongos perjudiciales, y facilita algunas relaciones de mutualismo que benefician los sistemas.
- Formación del suelo y ciclaje de nutrientes: la diversidad en los SAF permite optimizar el uso de los recursos y la extracción de nutrientes del suelo, sumado a esto la producción de hojarasca y fijación de nitrógeno mejoran el proceso de ciclaje de nutrientes y ayudan a la formación de suelo.
- La conservación de la diversidad: mejorando la conectividad entre fragmentos de bosque, lo que apoya en el proceso de distribución de las especies. Provisión de alimento para los animales silvestres y facilitando el establecimiento de la regeneración natural.

3 BIBLIOGRAFÍA

- Andrade H.J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 70 p
- Andrade, H. J. e Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 10 (39).
- Beer, J. 1980. *Cordia alliodora* con *Theobroma cacao*: una combinación tradicional en el trópico húmedo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Turrialba, CR.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D y Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations in *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, J.M; Somarriba E. y Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales en *Agroforestería en las Américas*. 10 :37-28.
- Chao, A; Chazdon, R.L; Colwell, R.K. y Shen T.J. 2004. Un nuevo método estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies con datos de incidencia y abundancia. *Ecology Letters*. 8: 148-159.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S. *et al.* 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87-99.
- Fournier, L. 1981. Importancia de los Sistemas Agroforestales en Costa Rica. *Universidad de Costa Rica* 5(1/2):141-147.
- Harvey, C.; Medina, A.; Sánchez, D.; Vilchez, S.; Hernández, B.; Saénz, JC.; Maes, JM.; Casanoves, F.; Sinclair, FL. 2006. Patterns of animal diversity associated with different forms of tree cover retained in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986-1999.
- Hurlbert, S. H. 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, **52**: 577-586.
- IPCC. 2007. Intergovernmental panel on climate change 2007. Synthesis report. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf.
- Jose, D; Shanmugaratnan, N. 1993. Traditional homegardens of Kerala: a sustainable human ecosystem. *Agroforestry Systems* 24:203-213
- Kreft, S; Eckstein. D; Dorsch. L y Fischer. L. 2016. Global Climate Risk Index 2016. Germanwatch. Berlin. P 5.
- Ludwig, J. A. y Reynolds, J. F. 1988. *Statistical ecology*. John Wiley & Sons, New York, 337 pp.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.

- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis (Borrador final). Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Washington, D.C.: World Resources Institute, PNUMA. 43 p. Documento web: <http://www.maweb.org/en/Products.Synthesis.aspx>
- Medina, BYF; Muñoz, CYA. 2006. Metodología para evaluación de servicios ambientales. ANACAFÉ. CATIE. 36 p.
- Murthy, I.K; Gupta, M; Tomar, S; Munsri, M; Tiwari, R; Hegde, G.T. y Ravindranath, NH. 2013. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in India. *Earth Science & Climatic Change*. 4 (1).
- Nair, P.K.R.1993. Classification of agroforestry systems. In: PKR, Nair. An introduction to agroforestry. KluwerAcademic. Netherlands. p. 21-53.
- Nair, P.K.R. 1998. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. *Agroforestry systems*. 38: 223–245.
- Nair, P.K.R.; Kumar, B.M. 2006. Tropical homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry. Springer. Dordrecht, Netherlands. p. 1–10.
- Nair, P.K.R. 2011. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Environmental Quality*. DOI: 10.2134/jeq2011.0076
- OEA (Organización de los Estados Americanos). 1987. Calidad Ambiental y desarrollo de cuencas hidrográficas: modelo de planificación y análisis integrado. Washington. 105 p.
- Oelbermann M.; Voroney R.P. y Gordon A.M. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. EL SERVIER. 104: 359–377.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2014. Aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura. Italia. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/218907/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma.
- Polania, C; Pla, L y Casanoves, F. 2011. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos en: Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Editado por Fernando Casanoves, Laura Pla y Julio A Di Rienzo. 1 ed. Turrialba, CR: CATIE, 2011. 84 p. Serie técnica. Informe técnico/ CATIE; no.384.
- Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP). 2015. Informa Anual 2014 MAP Noruega.
- Rapidel, B; Alline, C; Cerdan, C; Meylan, L; de Melo Virginio Filho, E y Avelino, J. 2015. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales en Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales / Montagnini, Florencia... [*et al.*]. – 1º ed. – Cali,

CO: CIPAV; Turrialba, CR: CATIE, 2015. 454 p.: il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no. 402)

Sánchez, P.A., 2000. Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics. *Agroforestry systems*. 82:371–383

Sherbinin, A. 2002. A CIESIN Thematic Guide to Land-Use and Land-Cover Change (LUCC). Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) Columbia University Palisades, NY, USA.

Somarriba, E. 1990. ¿Qué es agroforestería? *El Chasqui*. Costa Rica, CATIE 24:5-13

4 ARTÍCULO I CAMBIOS EN LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ESPECIES ARBÓREAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES, DURANTE EL PERIODO DE INFLUENCIA 2013 -2016 DEL PROGRAMA MAP-NORUEGA

Resumen

La región centroamericana es una de las regiones con más altos índices de crecimiento poblacional y número de personas en estado de pobreza. Esto ha incrementado la deforestación por cambio de uso para la agricultura, en respuesta a la necesidad de producción de alimentos. Los territorios de NicaCentral y Trifinio se caracterizan por tener un desarrollo basado en la producción agrícola de café, cacao, granos básicos y ganadería, parte esencial de la dieta básica de esta región. El efecto del cambio climático y la presencia de plagas y enfermedades que afectan negativamente estos sistemas de producción, han generado la necesidad de buscar nuevas estrategias que le permitan a las familias productoras adaptarse a los cambios del clima y factores externos. Como estrategia para afrontar la necesidad de aumentar la producción de alimentos y proteger los recursos naturales, se ha incentivado la implementación de prácticas y tecnologías de manejo de la tierra que permitan un uso más eficiente y amigable con el ambiente. El MAP-Noruega ha trabajado desde el 2013 con familias de pequeños productores a través de escuelas de campo y apoyo técnico para el fortalecimiento de las capacidades de las familias productoras y la formación de territorios climáticamente inteligentes, basados en los objetivos de desarrollo sostenible. A través de la investigación, la educación y el trabajo con cooperativas y asociaciones de productores, se ha facilitado el intercambio de información y conocimiento que ayude a mejorar la capacidad adaptativa y la toma de decisiones de las familias productoras ante eventos climáticos extremos. La implementación de sistemas agroforestales (SAF) y prácticas agroecológicas han sido algunas de las herramientas que ha incentivado MAP-Noruega en busca del desarrollo sostenible. Los SAF son sistemas de producción complejos que generan interacciones entre sus componentes, produciendo diversos servicios ecosistémicos que aumentan los beneficios económicos, ambientales y sociales. La riqueza, composición y abundancia de las especies presentes en estos sistemas de producción, dependen de las características ambientales y las necesidades de los productores que conducen a la toma de decisiones en las actividades de manejo de los cultivos.

Palabras clave: sistemas agroforestales (SAF), desarrollo sostenible, servicios ecosistémicos, riqueza, abundancia.

4.1 Introducción

MAP-Noruega busca contribuir en la construcción de territorios climáticamente inteligentes, en las zonas Trifinio y NicaCentral, con este fin trabajó con 5000 familias productoras, 30 organizaciones empresariales y seis plataformas de gobernanza territorial. Sus objetivos principales son disminuir la pobreza, la inequidad de género, la inseguridad alimentaria y nutricional, la degradación de los servicios ecosistémicos y la vulnerabilidad ante el cambio climático. Por ello, desarrolló actividades para fortalecer las capacidades de

los productores y promover innovación en tecnologías que permitan mejorar la eficiencia de los sistemas productivos, haciéndolos sostenibles, amigables con el ambiente, que fortalezcan los lazos sociales entre las comunidades y las familias, y sean económicamente rentables. Todo esto en busca de disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático e impulsar el desarrollo sostenible de las comunidades.

Durante tres años, MAP-Noruega trabajó en la capacitación de facilitadores que apoyaran el mejoramiento de las prácticas de manejo de los sistemas de producción de la región, e incentivando y valorando la conservación de la diversidad para la producción de servicios ecosistémicos. Entre sus estrategias MAP-Noruega ha incentivado la implementación de SAF y prácticas agroecológicas, en busca del desarrollo sostenible.

Los SAF son sistemas de manejo de la tierra que combinan árboles con cultivos agrícolas o producción pecuaria, que a través de las interacciones de sus componentes generan servicios que aumentan los beneficios económicos, ambientales y sociales (Beer *et al.* 1998, Fournier 1981, Nair 1993, Somarriba 1990, José y Shanmugaratnan 1993). Se ha demostrado que la presencia de árboles en los sistemas de producción agrícola ha mejorado los contenidos de nitrógeno en el suelo, controlado la erosión causada por las lluvias, disminuido el estrés calórico de los animales y ha generado aumento en la calidad y cantidad de la producción, además de capturar carbono a través de procesos de la fotosíntesis y la provisión de madera, leña, y alimento para las familias y los animales (Navas *et al.* 2008, De Aquino *et al.* 2008, Lorenzo *et al.* 2013, Sadof *et al.* 2014, Poorter *et al.* 2015, Rapidel 2015, Beer *et al.* 1998, Polania *et al.* 2011).

Este trabajo pretende explicar la relación que existe entre la diversidad y los servicios ecosistémicos generados en los SAF, evaluar los cambios en riqueza y abundancia entre dos tiempos de medición y evaluar la relación entre las prácticas de manejo, características socioeconómicas y la necesidad de los productores, y cómo esta afecta la composición, riqueza y abundancia de las especies arbóreas presentes en dichos sistemas de producción (Redford *et al.* 2003, Nair 1998, Nair 1993).

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en 300 fincas de pequeños productores de los territorios Trifinio (región inter-fronteriza entre Honduras, El Salvador y Guatemala) y la región Centro-Norte de Nicaragua (NicaCentral), vinculados al Programa Agroambiental Mesoamericano MAP-Noruega. En Nicaragua, participaron 137 familias, 32 familias en El Salvador, 88 familias en Guatemala y 43 familias en Honduras. Estas familias fueron seleccionadas por el MAP-Noruega en el año 2013, para realizar una primera medición y establecer una línea base con la cual pudieran evaluar los cambios generados durante los años de implementación de este.

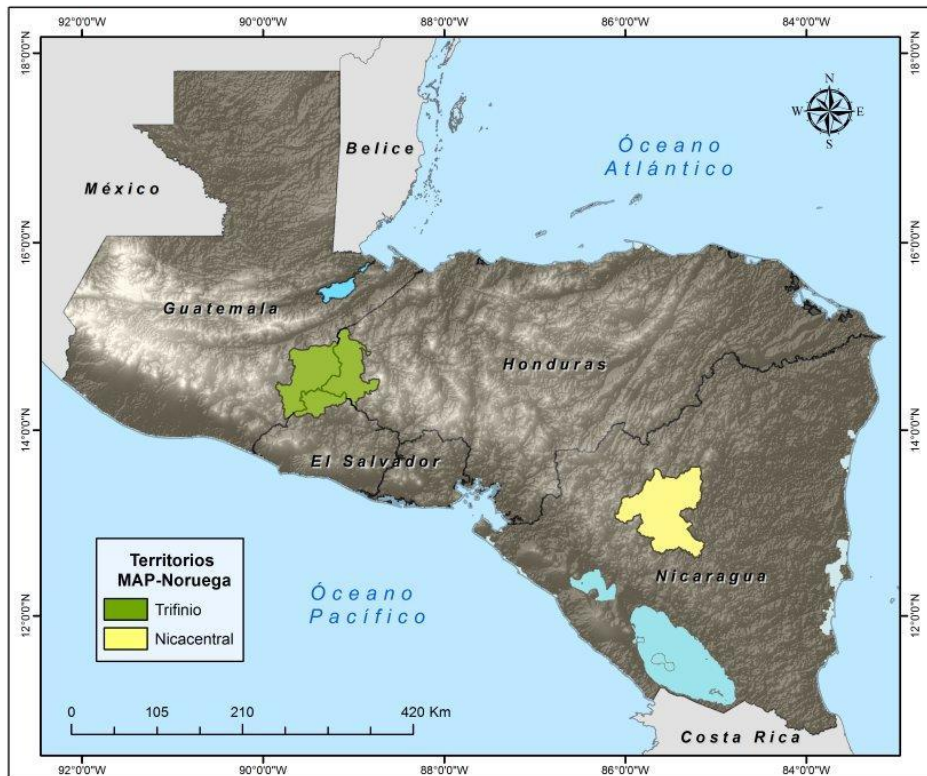


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio de la biodiversidad en sistemas agroforestales, y de incidencia del MAP-Noruega: Trifinio y NicaCentral.

4.2.1.1 NicaCentral

La zona de estudio de NicaCentral se encuentra ubicada al suroeste de la reserva de biosfera de Bosawas en la región centro norte del país. Compuesta por los municipios de Waslala, El Cuá, Jinotega, Tuma/La Dalia, Matiguás, Muy Muy, Rancho Grande y San Ramón. Tiene una superficie de 6428 km² y una población de aproximadamente 362 000 habitantes. Los usos de la tierra más comunes son cultivos anuales (huertos caseros y granos básicos), cultivos perennes (café, cacao, pasturas), bosques y tacotales (MAP 2015).

4.2.1.2 Trifinio

La región Trifinio cuenta con una extensión de 7541 km² y una población de 818 911 habitantes para el censo del 2011. Está conformada por 15 municipios de Guatemala, 22 municipios de Honduras y ocho municipios de El Salvador. Esta región se caracteriza por tener una densidad poblacional superior a la media en Centroamérica, lo que genera una alta presión sobre los recursos naturales y el avance de la frontera agrícola. Su principal motor de desarrollo económico es la agricultura en cultivos de café, hortalizas, granos básicos y ganadería (MAP 2015).

4.2.2 Metodología

4.2.2.1 Inventario de especies arbóreas en los SAF

Las fincas objeto de estudio fueron evaluadas en el año 2013 y nuevamente evaluadas en el año 2016. En ambas mediciones, en los sistemas productivos pasturas y

granos básicos se realizó un inventario total de los árboles presentes en estos y en los SAF café y cacao, se estableció una única parcela circular de 1000 m². En estos se identificaron las especies arbóreas presentes y se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de cada individuo; únicamente se registraron los individuos con un DAP igual o mayor a los 10 cm.

4.2.2.2 *Análisis de diversidad*

Se estimó la riqueza y abundancia de especies en los dos tiempos de medición para cada uno de los SAF evaluados por territorio. Como el área de muestreo establecida para realizar el inventario en cada uno de los SAF es diferente, fue necesario estandarizar la información de riqueza y abundancia de especies, utilizando la variable área del sistema priorizado como covariable para la estimación de la riqueza y abundancia (Hurlbert 1971, Ludwig y Reynolds 1988, Magurran 1988). También se utilizaron curvas rango-abundancia para evaluar la dominancia y equitatividad.

Por último, para evaluar los cambios en riqueza de especies y abundancia de árboles entre las dos mediciones en los SAF por territorio, se utilizaron modelos lineales generalizados y mixtos con la función de enlace Poisson. Se declararon como efectos fijos los factores territorio-SAF, año de medición y la interacción entre estos dos, además de la covariable área del SAF. Como efectos aleatorios, se declaró código que identifica las familias. Para evaluar las diferencias se utilizó la prueba *a posteriori* LSD de Fisher a un nivel de significancia de 0.05. Los análisis se realizaron en el *software* InfoStat versión 2016 (Di Rienzo *et al.* 2016)

4.2.2.3 *Identificación de determinantes que afectan la riqueza y abundancia de especies*

A través de encuestas se recolectó información socioeconómica y ambiental que puede explicar la composición o diversidad de los SAF. A partir de esta información, se crearon índices para evaluar a través de tablas de contingencia y análisis de correspondencias, la relación entre variables como los criterios de selección de especies, origen de las plántulas nuevas en el sistema, tipo de manejo del cultivo, fuentes de ingresos adicionales, escolaridad del jefe o jefa del hogar y toma de decisiones con los SAF. También se registró información de la edad del productor, edad del SAF y diversidad de usos del suelo, con la que se realizaron modelos de regresión lineal usando modelos lineales generalizados y mixtos, con la función de enlace Poisson para evaluar su relación con las variables riqueza y abundancia de la última medición.

4.3 **Resultados**

4.3.1 *Descripción general*

4.3.1.1 *Riqueza y abundancia*

De las 300 familias evaluadas en los territorios, 83 % (249 familias) tenía como sistema priorizado café, cacao, pasturas o granos básicos (Cuadro 1). Una vez terminada la depuración de la base de datos del inventario de especies arbóreas, se identificó que 138 familias habían mantenido el mismo sistema priorizado durante el periodo correspondiente a las dos mediciones, 2013 y 2016.

Cuadro 1. Número de familias para cuyas fincas se hizo el estudio de biodiversidad en sistemas agroforestales, por territorio

SAF	NicaCentral	Trifinio
Cacao	4	
Café	35	42
Granos básicos		37
Pastura	20	

A partir del análisis de la cantidad de familias por SAF estable a lo largo del periodo de estudio (Cuadro 1), se definió un tamaño de muestra de 134 familias, se descartó el sistema cacao en NicaCentral debido al bajo número de familias con el mismo, para evaluar los cambios de riqueza y abundancia entre las dos mediciones e identificar las variables socioeconómicas y ambientales que expliquen tales cambios y relacionarlas con los servicios ecosistémicos que proveen los SAF.

En las dos mediciones se registraron en total 3906 individuos pertenecientes a 174 especies en los tres SAF evaluados. En general, se observa un aumento en el número de árboles entre los años 2013 y 2016, a excepción del sistema café en NicaCentral, en el que se observa una disminución (Figura 2); el sistema granos básicos presenta el menor número de árboles registrados en los dos momentos de medición.

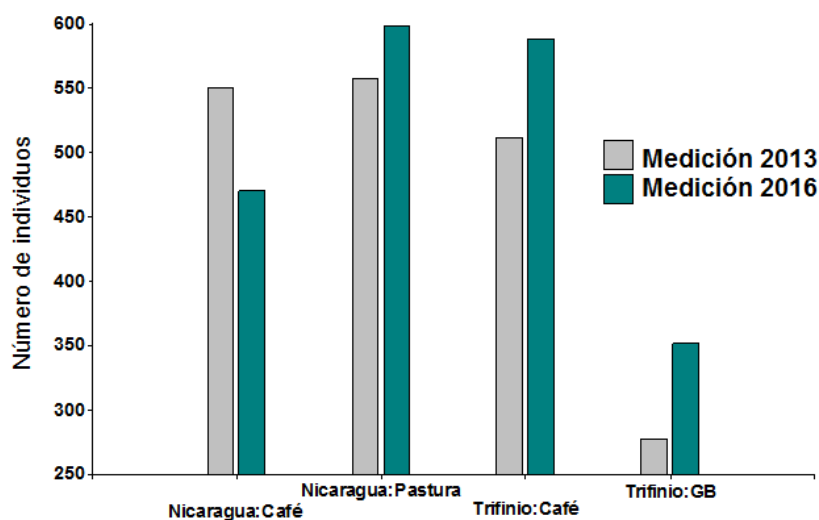


Figura 2. Número de árboles en los diferentes sistemas agroforestales en cada territorio y en los diferentes años de medición.

En la medición 2016, se registraron un total de 139 especies de árboles en los dos territorios, de estas 37 fueron encontradas en ambos territorios. El territorio con mayor número de especies registradas es NicaCentral (92 especies). De los SAF evaluados, café fue donde se registró el mayor número de especies en total para los dos territorios, seguido de pasturas en NicaCentral con 60 especies de árboles y por último, granos básicos con 56 especies de árboles (Figura 3).

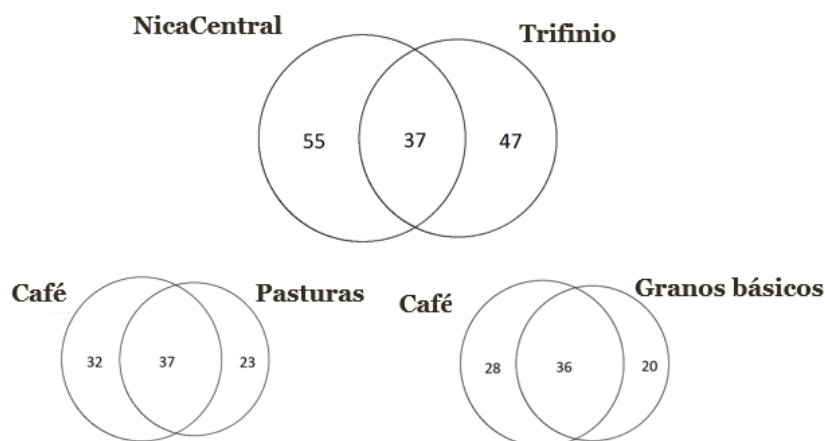


Figura 3. Número de especies totales registradas por territorio y sistema agroforestal.

4.3.1.2 Características socioeconómicas

De las 134 familias con las que se trabajó, en el 39 % de estas quien tomaba las decisiones de las actividades en el SAF era el hombre adulto, el 31 % de las familias tomaba las decisiones considerando los miembros adultos del hogar (mujeres y hombres) y en el 10 % quien tomaba las decisiones eran las mujeres adultas. El resto de los encuestados mencionan que la toma de decisiones en las actividades a realizar en los SAF son una combinación de miembros del hogar adultos y jóvenes.

El 52 % de las familias reporta que el jefe o jefa del hogar no tiene ningún grado de escolaridad y el 40 % reporta tener la escuela primaria completa; el restante 8 % tiene un nivel de escolaridad superior. El 77 % de las familias dependen de trabajos informales, de su producción agrícola y remesas.

Las características de manejo de los SAF recopiladas a través de la información tomada en las encuestas y observación en el campo, indican que para la medición 2016 el 77 % de las familias hacen manejo agroecológico, seguido del 13 % de las familias que hacen manejo tradicional; el tipo de manejo menos reportado es el orgánico (1 %). Independientemente del tipo de manejo que realizan las familias, el 74 % de estas indican que hacen algún tipo de manejo al componente arbóreo (siembra, poda, aprovechamiento, fertilización, entre otros)

En cuanto a los criterios que tienen en cuenta los productores y productoras al momento de establecer árboles en el SAF, los más mencionados son: producción de madera (73 %), protección del suelo (53 %), sombra (39 %), control de la erosión (34 %) y producción de hojarasca (30 %); los criterios producción de alimento para la familia, protección contra el viento, producción de alimento para los animales en finca y la vida silvestre, conservación de la biodiversidad y almacenamiento de carbono fueron los menos mencionados por los productores.

4.3.2 Evaluación de cambios en la riqueza y abundancia de especies arbóreas

4.3.2.1 Curvas rango-abundancia

En las curvas rango-abundancia se identifica en todos los casos la dominancia de dos especies en cada sistema (Figura 4). También se puede observar que las especies dominantes no cambiaron entre las dos mediciones.

Las pasturas en NicaCentral están dominadas principalmente por dos especies, *Cordia alliodora* y *Guazuma ulmifolia*, que representan cerca del 50 % de la abundancia total (Figura 4). Entre las dos mediciones se observa un aumento del número de individuos de las dos especies dominantes principales.

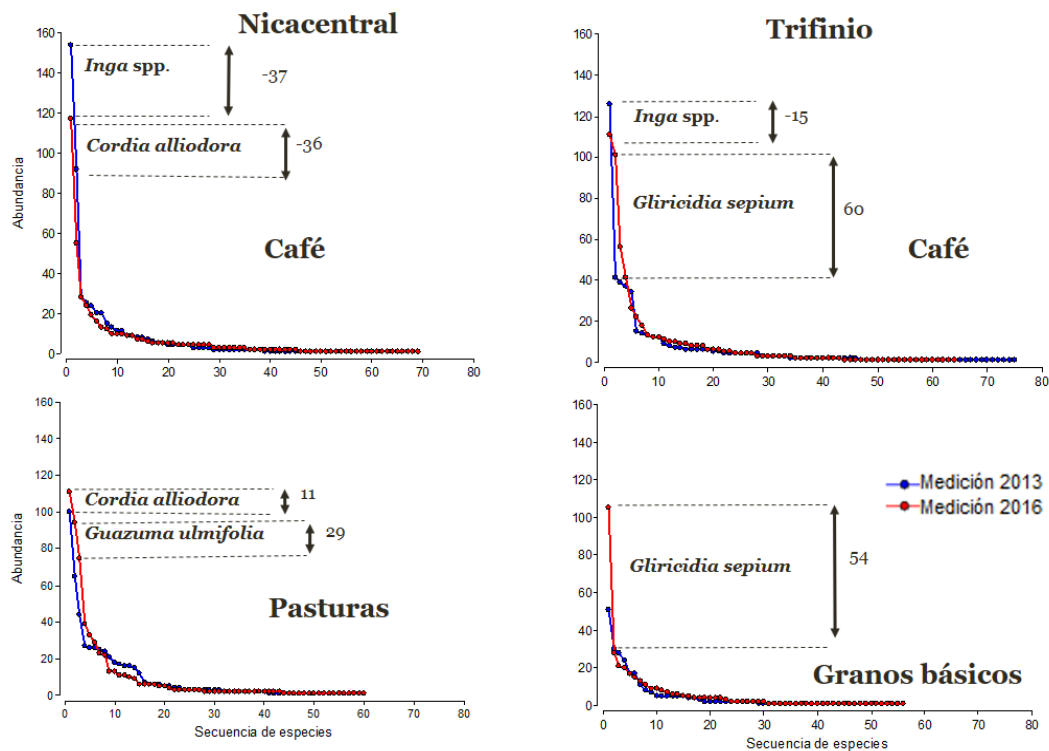


Figura 4. Curva rango-abundancia para los años 2013 y 2016 para los sistemas café y pasturas en NicaCentral y café y granos básicos en Trifinio.

En el sistema café, la especie más dominante para los dos territorios es *Inga sp.* seguido de *C. alliodora* y *Gliricidia sepium* en NicaCentral y Trifinio, respectivamente (Figura 4). De los tres SAF evaluados, este fue el único que presentó disminuciones en el número de individuos entre las dos mediciones; para el caso del territorio NicaCentral, se observaron disminuciones para las dos especies dominantes (*Inga sp.* y *C. alliodora*), y en el caso de Trifinio, la disminución se observó únicamente para la especie dominante *Inga sp.*

En NicaCentral, la especie más representativa en los dos SAF evaluados fue *C. alliodora*, especie de alta importancia para la producción de madera (De Sousa *et al.* 2016). Para el territorio Trifinio, una de las especies con más dominancia en los dos SAF evaluados fue *Gliricidia sepium*, comúnmente usada en SAF para el establecimiento de cercas vivas.

A partir de las curvas rango-abundancia, se estimó el punto en el que la curva llega a la asíntota y se obtuvo que cada una de las combinaciones territorio-SAF tiene entre 20 y 25 especies con bajas abundancias, identificadas como especies raras (Rabinowitz et al. 1986, Gaston 1994); el SAF con mayor número de especies con rara frecuencia fue café, con 25 especies para los dos territorios (Cuadro 2). En total se registraron 70 especies con abundancias menores o iguales a cinco.

Cuadro 2. Número de especies con abundancia menores o iguales a 5 individuos

Territorio-SAF	Número de especies
NicaCentral-Pastura	20
NicaCentral-Café	25
Trifinio-Café	25
Trifinio-Granos básicos	23

De las 70 especies con abundancias bajas, únicamente la especie *Hymenaea courbaril* fue registrada en todas las combinaciones territorio-SAF para los dos años de medición; esta especie se caracteriza por ser usada principalmente para el aprovechamiento de la madera para construcción. En los SAF café y pasturas en NicaCentral, se registraron las especies *Trichilia* sp., *Pentaclethra macroloba* y *Nectandra reticulata* como especies de baja abundancia, todas de uso maderable. Las especies *Cochlospermum vitifolium*, *Quercus* sp., *Zuelania guidonia*, *Cupressus* sp. y *Oreopanax geminatus* fueron registradas como especies con abundancias bajas en los SAF café y granos básicos en Trifinio. En el SAF café en los dos territorios, se registraron las especies *Muntingia calabura* y *Capparis verrucosa* como especies con baja abundancia, especies frecuentemente encontradas en los bosques de estos territorios (Inventario Forestal Nacional de Honduras 2006, Inventario Forestal Nacional de Guatemala 2004, Inventario Forestal Nacional de Nicaragua 2009). El resto de las especies fueron registradas únicamente en un SAF.

4.3.2.2 Cambios en el tiempo

Se evaluaron los cambios en riqueza y abundancia de especies entre las dos mediciones a partir de modelos lineales generalizados y mixtos. Para la variable abundancia, se obtuvo que no hay interacción entre los factores territorio-SAF y medición ($p=0.1022$), pero sí hay diferencias significativas para los efectos de los factores medición ($p=0.0123$) y territorio-SAF ($p<0.0001$). En general, el territorio de NicaCentral es el que tiene mayores abundancias estimadas, y no existen diferencias significativas entre los SAF pasturas y café en este territorio (Cuadro 3). En Trifinio, el SAF que registró la menor abundancia fue granos básicos. Al comparar entre los años de medición, se obtuvo que la abundancia estimada es más alta para la medición 2016 que la estimada para la medición 2013 (Cuadro 4).

Cuadro 3. Comparación de medias de abundancia de árboles entre tres tipos de sistema agroforestal en fincas de dos territorios Trifinio y NicaCentral

Territorio-Sistema	Media	E.E.	
NicaCentral-Pastura	12.36	2.00	a
NicaCentral-Café	8.37	0.87	a
Trifinio-Café	7.50	0.69	b
Trifinio-Granos básicos	4.64	0.46	c

Cuadro 4. Comparación de medias para la abundancia estimada de árboles en tres tipos de sistemas agroforestales en los territorios Trifinio y NicaCentral entre las mediciones de 2013 y 2016

Medición	Media	E.E.	
Medición 2016	8.18	0.45	A
Medición 2013	7.34	0.41	B

Los resultados del modelo para evaluar las diferencias en riqueza de especies indican que no hay interacción entre los factores territorio- SAF y medición ($p= 0.6409$), y que no hay diferencias significativas en la riqueza estimada entre las dos mediciones ($p=0.1574$). Únicamente se encontraron diferencias significativas por territorio-SAF ($p<0.0001$). Siendo el sistema granos básicos en Trifinio, el sistema que tiene menor riqueza estimada (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de medias de riqueza estimada de especies arbóreas para seis combinaciones de territorio y sistema agroforestal en dos sitios de Centroamérica

Territorio-Sistema	Media	E.E.	
NicaCentral-Pastura	4.20	0.50	A
Trifinio-Café	3.53	0.24	A
NicaCentral-Café	3.52	0.27	A
NicaCentral-GB	3.50	1.45	A
Trifinio-Pastura	2.67	0.86	A
Trifinio-Granos básicos	2.55	0.19	B

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el modelo de abundancia y responden a la relación positiva entre número de árboles y riqueza (Chao y Jost 2012, Chao *et al.* 2014). La poca diferencia en riqueza de especies entre los demás sistemas puede explicarse por la alta dominancia de unas cuantas especies en estos sistemas.

4.3.2.3 Fuente de origen de nuevos árboles

Al evaluar la fuente de origen de donde provienen los árboles nuevos presentes en el SAF, se obtuvo que la mayor parte provienen de la regeneración natural (Figura 5). Esta depende de las especies presentes en los bosques cercanos a las fincas y las especies remanentes de bosque, por lo tanto, la riqueza de especies se ve limitada a la riqueza original del bosque (Harvey *et al.* 2011). Otros de los factores limitantes del establecimiento de nuevas especies son la capacidad de estas para soportar las actividades de manejo realizadas en el sistema productivo y que sean especies que provean algún tipo de servicio de interés para el productor (Camargo 2003, Albertin y Nair 2004, Harvey *et al.* 2011)

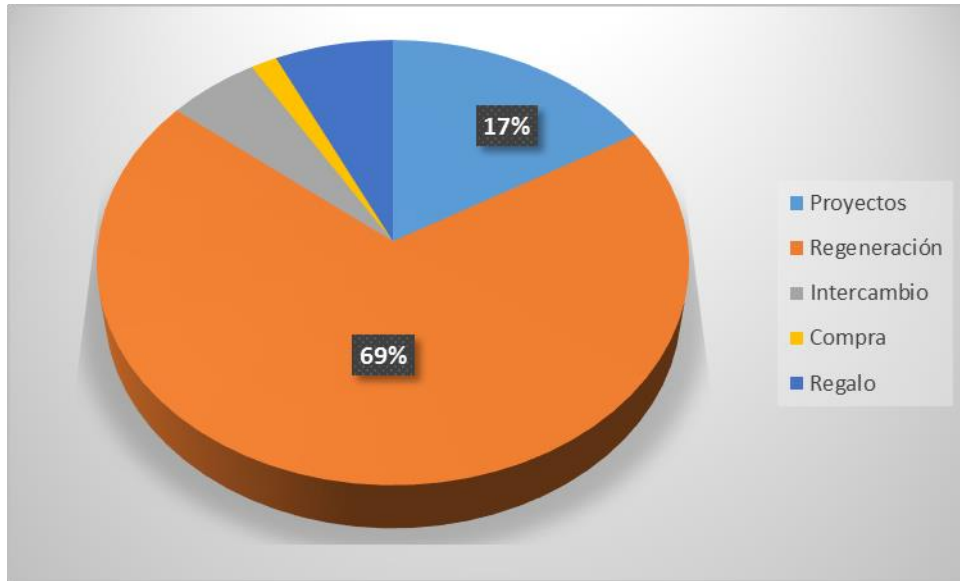


Figura 5. Fuente de origen de las nuevas plantas en los sistemas agroforestales pasturas, café y granos básicos en los territorios Trifinio y NicaCentral

Debido a que no se encontraron diferencias entre las mediciones para la riqueza, y con el fin de verificar que el esfuerzo de muestreo fue suficiente, se realizó una prueba de potencia para distinto número de repeticiones y se verificó que la potencia fue suficiente para encontrar diferencias de al menos una especie (Figura 6). Este estudio trabajó con un tamaño muestral de 248 repeticiones, por lo que la potencia alcanzada supera el 95 %.

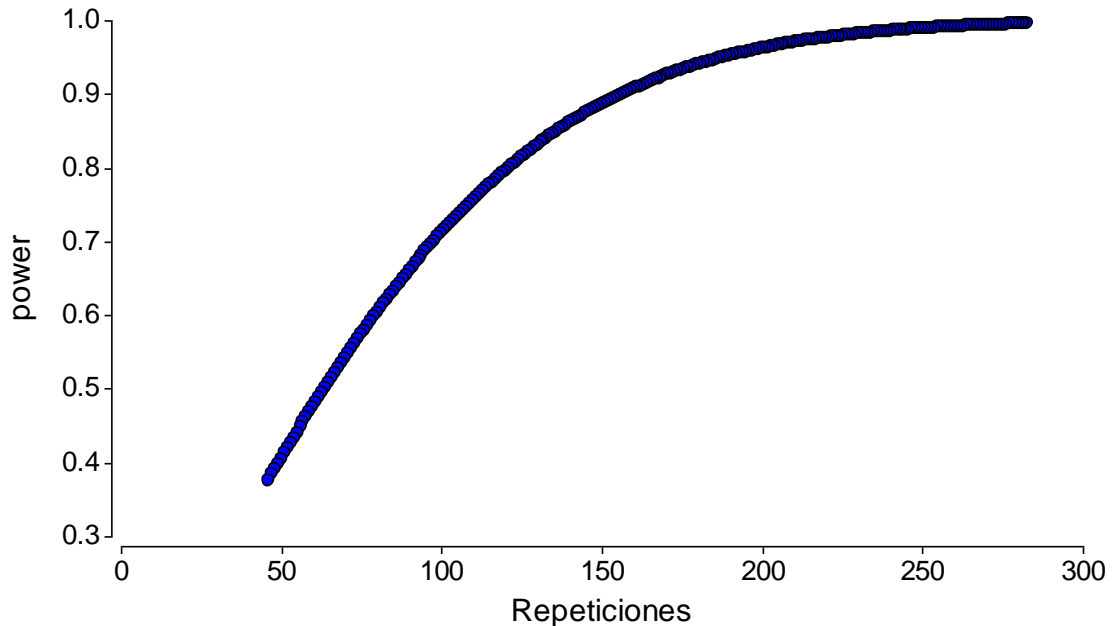


Figura 6. Prueba de potencia para evaluar la capacidad de encontrar diferencias significativas.

4.3.2.4 Diversidad y servicios ecosistémicos

Para explicar la composición de los sistemas agroforestales evaluados y los SE que estos proveen, se utilizó la información obtenida de encuestas. Se evaluó la relación entre

los criterios para el establecimiento de especies arbóreas en cada uno de los sistemas por territorio. Los criterios evaluados son: producción de alimento para los animales de la finca, producción de alimento para la familia, producción de materia orgánica, producción de madera y sombra.

Como se puede observar, en el análisis de correspondencias existe una relación entre los criterios y los sistemas evaluados en cada territorio (Figura 7).

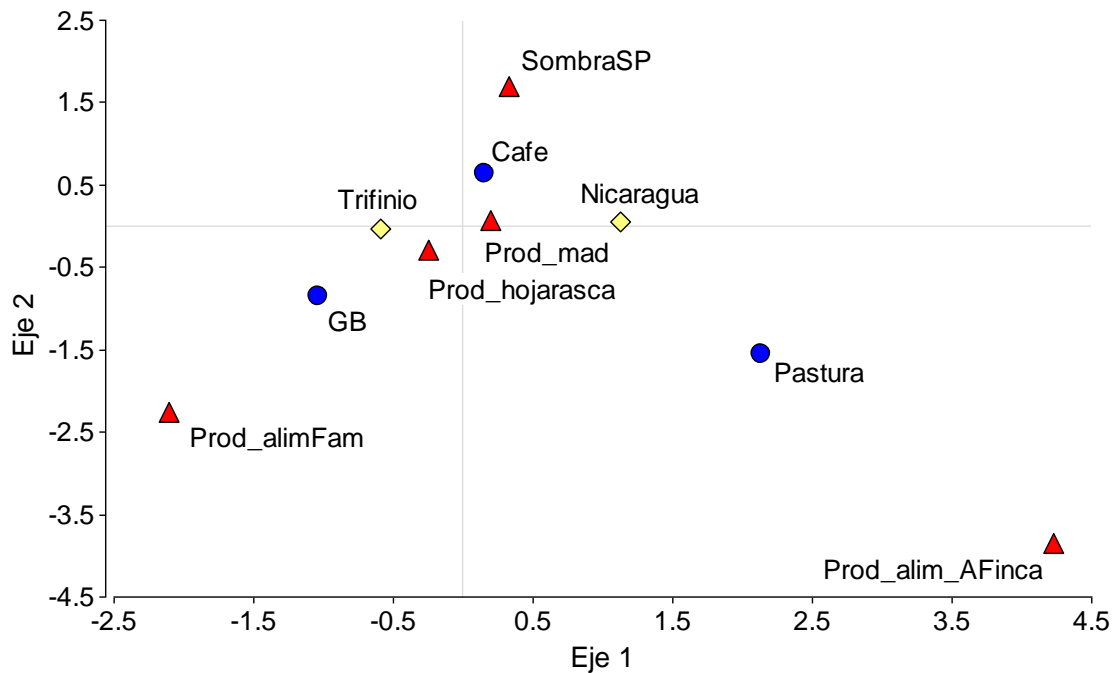


Figura 7. Análisis de correspondencia para las variables criterios de selección de especies, territorio y sistema. Inercia total explicada 45.13 %

Se puede observar que las pasturas están más asociadas con criterios de establecimiento de árboles para la producción de alimento para los animales, producción de madera y hojarasca (Figura 7). En granos básicos, se observa la asociación con el criterio de selección de especies que produzcan alimento para la familia y hojarasca.

Por último, el sistema café, que para este estudio es el único sistema evaluado presente en los dos territorios, está relacionado con los criterios de producción de madera, producción de hojarasca y sombra para el cultivo.

Cuadro 6. Frecuencias relativas por criterio en cada sistema para el territorio NicaCentral

Criterio	Café	Pastura	Total
Producción alimento animales	0.00	0.14	0.04
Producción materia orgánica	0.46	0.50	0.47
Producción de madera	0.32	0.36	0.33
Sombra	0.22	0.00	0.16
Total	1.00	1.00	1.00

Al comparar los resultados de las tablas de contingencia para el territorio NicaCentral y Tirfinio y los resultados de las curvas rango abundancia, se puede observar que en el sistema café, la producción de materia orgánica es el criterio más importante, seguido del criterio producción de madera y sombra para el cultivo (Cuadro 6 y **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**).

Cuadro 7. Frecuencias relativas por criterio de selección de especies en cada sistema para el territorio Trifinio

Criterio	Café	GB	Total
Producción alimento para la familia	0.00	0.04	0.02
Producción materia orgánica	0.47	0.70	0.57
Producción de madera	0.31	0.26	0.29
Sombra	0.22	0.00	0.12
Total	1.00	1.00	1.00

En general, para este estudio el criterio más importante entre los productores al momento de seleccionar las especies arbóreas en el SAF, es la producción de materia orgánica, la cual está asociada a los servicios de conservación del suelo, regulación del ciclo higrológico y de nutrientes y fijación de N. El segundo y tercer criterio más importantes son la producción de madera y producción de alimento.

4.3.2.5 Cambios en la riqueza y abundancia y su relación con las características socioeconómicas

Otra de las variables evaluadas a partir de la información obtenida de las encuestas fue el tipo de manejo que se realiza en el SAF. Se definieron cuatro tipos de manejo: tradicional, convencional, orgánico y agroecológico. Estos tipos de manejo se diferencian por los tipos de insumos que utilizan, las actividades de manejo (manejo de sombra, poda de café, corta de pasto, quemados y manejo de la regeneración) y la intensidad con la que se realizan estas actividades. Al comparar la riqueza y abundancia en los diferentes tipos de manejo, se obtuvo que existen diferencias significativas para la estimación de riqueza ($p=0.0087$), siendo el manejo tradicional el que presenta la menor riqueza estimada.

Cuadro 8. Comparación de medias de riqueza arbórea estimada por tipo de manejo.

Tipo de manejo	Media	E.E.	
Orgánico	4.35	0.42	A
Agroecológico	4.35	0.35	A
Convencional	4.17	0.30	A
Tradicional	3.95	0.21	B

Los resultados del modelo para evaluar la abundancia indican que existen diferencias significativas entre los tipos de manejo ($p<0.0001$), siendo igualmente el tipo de manejo tradicional el que tiene los menores valores de abundancia estimada. El tipo de manejo agroecológico es el que tiene los mayores valores de abundancia estimada, seguido por el orgánico y el convencional que no son diferentes entre ellos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de medias de abundancia estimada por tipo de manejo

Tipo de manejo	Media	E.E.	
Agroecológico	12.21	1.56	A
Orgánico	9.88	1.33	B
Convencional	8.63	1.11	B
Tradicional	7.46	0.93	C

Para evaluar la relación entre variables socioeconómicas y el cambio en la abundancia y riqueza de especies, se clasificaron las familias en tres grupos: cambio positivo, cambio negativo y no cambio. Con esta variable categórica y la información socioeconómica obtenida de la encuesta, se evaluó la relación a través de tablas de contingencia. Únicamente se encontró una relación significativa para abundancia y riqueza con la variable manejo del componente arbóreo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Valores de probabilidad para la asociación entre categorías de cambio (positivo, negativo y no cambió) y las variables socioeconómicas para abundancia y riqueza (prueba chi-cuadrado)

Variable	Abundancia	Riqueza
Escolaridad	0.1422	0.2312
Quién hace las actividades (hombres o mujeres)	0.1403	0.6410
Manejo de árboles	<u>0.0232</u>	<u>0.0023</u>
Género del jefe o jefa de hogar	0.2032	0.1006
Ocupación del jefe o jefa del hogar	0.5006	0.2209
Quién decide las actividades (hombres o mujeres)	0.0903	0.1801
Tipo de manejo	0.1384	0.3561

Cuadro 11. Frecuencias relativas por tipo de cambio en la riqueza (No cambio, cambio positivo o cambio negativo) y si realiza manejo del componente arbóreo o no

Manejo de árboles	No	Positivo	Negativo	Total
No	0.09	0.30	0.60	1.00
Sí	0.13	0.58	0.30	1.00
Total	0.12	0.50	0.39	1.00

Cuadro 12. Frecuencias relativas por tipo de cambio en la abundancia (No cambio, cambio positivo o cambio negativo) y si realiza manejo del componente arbóreo o no

Manejo de árboles	No	Positivo	Negativo	Total
No	0.05	0.35	0.60	1.00
Sí	0.03	0.60	0.38	1.00
Total	0.03	0.52	0.44	1.00

La probabilidad de aumento en riqueza de especies es más alta cuando se realiza manejo del componente arbóreo (58 %) que cuando no se realiza manejo (30 %). Las familias que no realizan manejo de componente arbóreo están más relacionadas con cambios negativos (Cuadro 11). Un resultado similar se observa para los cambios en abundancia de especies (Cuadro 12).

4.4 Discusión

4.4.1 Cambios en la riqueza y abundancia de especies arbóreas

Un lapso de tres años para evaluar los cambios en riqueza y abundancia en SAF puede no ser suficiente, ya que el objeto de estudio requiere de varios años para su desarrollo. Los cambios en las prácticas de manejo incentivados por el MAP-Noruega requieren un plazo mayor para reflejar los resultados, pero a pesar del poco tiempo entre las dos mediciones, se encontraron cambios principalmente en la abundancia de los individuos.

Al evaluar la composición de los SAF a través de las curvas de rango-abundancia, se observó que los SAF evaluados se encuentran dominados por pocas especies, las cuales continuaron siendo dominantes durante las dos mediciones. Esto puede deberse a que, en la mayoría de los SAF evaluados, las especies dominantes son especies que presentan una importante tasa de regeneración y crecimiento rápido (Esquivel *et al.* 2008, De Sousa *et al.* 2016,).

El SAF granos básicos en Trifinio es el que presentó el menor valor de abundancia estimada. Este sistema se caracterizaba anteriormente por el uso de la práctica de quema para la preparación del terreno. Este tipo de prácticas puede dificultar el establecimiento y crecimiento de plántulas y regeneración natural (Esquivel *et al.* 2008). Además de ser cultivos de corto ciclo, presentes en terrenos con baja fertilidad.

De los tres SAF evaluados, café fue el único que registró disminución de la abundancia entre las dos mediciones, aunque se mantuvieron el orden de dominancia de las especies presentes. La principal explicación a esta disminución de la abundancia puede ser debido a la presencia de la roya en los cultivos. Durante los años de medición, se presentó epidemia de roya en la región centroamericana que inicio en el 2012 (Avelino y Rivas 2013), para enfrentar esta situación una de las recomendaciones de los técnicos fue manejar la sombra, ya que un exceso de sombra o una cobertura mal manejada puede crear condiciones favorables para el desarrollo de la roya y otras plagas y enfermedades (Avelino *et al.* 2007).

Por otro lado, no se observaron cambios en la riqueza entre las dos mediciones, lo cual puede ser explicado por la alta dominancia de pocas especies en los SAF que limitan el establecimiento de especies nuevas. Las únicas diferencias observadas en riqueza fueron dadas por la combinación de los factores territorio-SAF, siendo granos básicos en Trifinio el SAF con menor riqueza estimada y el único estadísticamente diferente a los demás. Este resultado se explica por la relación positiva que existe entre el número de árboles y la riqueza, a mayor número de árboles mayor probabilidad de encontrar especies diferentes (Chao y Jost 2012, Chao *et al.* 2014). El SAF granos básicos registró durante todo el estudio los menores valores estimados de abundancia, si a estos resultados se le agregan las limitantes de desarrollo de regeneración natural debido a la baja fertilidad de los terrenos y el arado intensivo, la probabilidad de tener una alta riqueza en este tipo de SAF es baja.

4.4.2 Diversidad y servicios ecosistémicos

Los SAF son sistemas diversificados más complejos que un sistema de cultivo tradicional, que a través de las interacciones árbol-cultivo generan procesos ecosistémicos que mejoran la eficiencia y aumentan los beneficios económicos, y ambientales. (Beer *et*

al. 1998, Beer 1980, Forman 1997, Nair 1998, Andrade 1999, Beer *et al.* 2003, Harvey *et al.* 2006). La región evaluada se caracteriza por tener déficits de materia orgánica, ocasionados por las altas temperaturas que aceleran la tasa de descomposición y las prácticas en los cultivos que degradan el suelo. Los árboles en los SAF generan un microclima que reduce la temperatura en el cultivo y mantienen niveles de humedad, protegen del impacto de la lluvia, producen materia orgánica y fijan N en el suelo. Todos estos beneficios son percibidos por los productores que tienen la necesidad de mejorar los suelos de sus cultivos, es por esto que uno de los principales criterios de los productores al momento de seleccionar especies en el sistema productivo, es la producción de materia orgánica.

Este resultado concuerda con el obtenido en las curvas rango-abundancia, ya que las especies dominantes en los SAF se caracterizan por ser usadas como fuente de alimento para el ganado, producción de madera y ser especies fijadoras de N. Resultados como estos también fueron reportados por Albertin y Nair (2004), quienes evaluaron las razones para el uso de sombra en cultivos de café; sus resultados indicaron que el 54.7 % de los productores encuestados mencionan el uso de la sombra para la conservación del suelo, el 14.9 % mencionan beneficios secundarios como la producción de frutas y madera, el 3.4 % lo hacen para aumentar los rendimientos y proveer alimento a los animales silvestres, y el 1.4 % define el uso de la sombra de acuerdo con las necesidades nutricionales y deficiencias del suelo. Harvey y Haber (1999) reportan que las razones por las que los productores mantienen árboles en el sistema son: sombra, producción de madera y producción de frutos.

4.4.3 Cambios en la riqueza y abundancia y su relación con las características socioeconómicas

Escalante y Somarriba (2001) en un estudio realizado en cafetales en el occidente de El Salvador, obtuvieron que la altitud, área del cafetal y el manejo agronómico están relacionados con la riqueza y cobertura arbórea. La relación que existe entre los aumentos de riqueza y abundancia cuando se realiza manejo del componente arbóreo y las mayores estimaciones de riqueza y abundancia cuando se realiza manejo agroecológico, indican que la diversidad es mayor cuando se realizan prácticas de manejo más amigables con el ambiente y estas no son realizadas únicamente en el cultivo principal.

4.5 Conclusiones

- A pesar del corto tiempo entre las mediciones 2013 y 2016, se encontraron diferencias en la abundancia de árboles en los diferentes sistemas. Este cambio se atribuye a la alta regeneración y crecimiento rápido asociado a las especies dominantes dentro de cada sistema. La falta de cambios en riqueza entre las dos mediciones se debe a que la mayor parte de los árboles nuevos en el sistema provienen de la regeneración natural presente en el área de la finca y la dominancia de pocas especies dentro de cada sistema. Estos dos factores limitan el aumento en la riqueza de especies.
- Variables como el tipo de manejo, manejo del componente arbóreo, sistema productivo, árboles remanentes y las necesidades de los productores son algunos de los factores más importantes en la riqueza y abundancia de árboles en los sistemas agroforestales.
- La relación entre las especies dominantes y los criterios de los productores para el establecimiento de especies arbóreas en los sistemas productivos, indica que los productores perciben los beneficios que se obtienen del establecimiento de sistemas agroforestales y que la decisión del productor es uno de los principales determinantes de la riqueza y abundancia de especies en estos sistemas.
- El potencial de regeneración caracterizado por el tipo de dispersión de las semillas, la capacidad de soportar las diferentes prácticas de manejo realizadas en los sistemas de producción (quemados, limpieza de arvenses, daños físicos generados por los animales y control de plagas y enfermedades) y hábitat, además de los criterios de selección de especies de los productores, son las más significativas determinantes de la riqueza y abundancia de especies arbóreas en los sistemas agroforestales evaluados.

4.6 Recomendaciones

- Para este tipo de estudios en los que se intenta evaluar el efecto de un programa y su relación con las variables ambientales y socioeconómicas, es recomendable tener la información de un grupo control que permita identificar los cambios ocurridos por la influencia del MAP-Noruega.
- Para la medición 2013, MAP-Noruega les solicitó a las familias seleccionadas identificar entre sus sistemas productivos, uno en el cual quisieran trabajar bajo su asesoría, para mejorar los rendimientos y la eficiencia de este. Pero durante el primer año del MAP-Noruega, después de la primera medición, algunas familias decidieron cambiar el sistema priorizado, lo cual generó inconvenientes al momento de evaluar los cambios directos en diversidad de estos sistemas. Al finalizar la medición 2016, se obtuvo que 138 familias habían mantenido el mismo sistema priorizado seleccionado en la medición 2013. Es recomendable mantener la consistencia y definir desde un principio bien los criterios para la selección de la muestra, con el fin de evitar inconvenientes de falta de información en el futuro.

4.7 Bibliografía

- Albertin, A; Nair PKR. 2004. Farmers' perspectives on the role of shade trees in coffee production systems: an assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Human Ecology* 32 (4):443-462.
- Andrade H.J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 70 p
- Avelino, J.; Cabut, S.; Barboza, B.; Barquero, M.; Alfaro, R.; Esquivel, C.; Durand, J.F.; Cilas, C. 2007. Topography and Crop Management Are Key Factors for the Development of American Leaf Spot Epidemics on Coffee in Costa Rica. *Phytopathology* 97(12): 1532- 1542.
- Avelino, J.; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>, 47 p.
- Beer, J. 1980. *Cordia alliodora* con *Theobroma cacao*: una combinación tradicional en el trópico húmedo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Turrialba, CR.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, J.M; Somarriba E. y Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales en Agroforestería en las Américas. 10 :37-28.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D y Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations in Agroforestry Systems 38:139-164.
- De Sousa, K.F.D.; Detlefsen, G.; de Melo Virginio Filho, E. 2016. 90: 207. doi:10.1007/s10457-015-9846-2
- Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; González L; Tablada M; Robledo CW. 2014. InfoStat. versión 24-03-2011 ed. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba
- Escalante, M; Somarriba, E. 2001. Diseño y manejo de cafetales en el occidente de El Salvador. *Agroforestería en las Américas* 8(30):8-16.
- Fournier, L. 1981. Importancia de los Sistemas Agroforestales en Costa Rica. *Universidad de Costa Rica* 5(1/2):141-147.
- Gaston, K. J. 1994. *Rarity*. Chapman and Hall, Nueva York.
- Harvey, C.; Medina, A.; Sánchez, D.; Vilchez, S.; Hernández, B.; Saénz, JC.; Maes, JM.; Casanoves, F.; Sinclair, FL. 2006. Patterns of animal diversity associated with different forms of tree cover retained in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986-1999.
- Inventario Forestal Nacional de Guatemala. 2004. EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES: INVENTARIO FORESTAL NACIONAL 2002-03 Guatemala, noviembre de 2004 FAO

- Inventario Forestal Nacional de Honduras. 2006. EVALUACIÓN NACIONAL FORESTAL PROYECTO APOYO AL INVENTARIO Y EVALUACIÓN NACIONAL DE BOSQUES Y ÁRBOLES TCP/HON/3001 (A) RESULTADOS DEL INVENTARIO DE BOSQUES Y ÁRBOLES 2005-2006 Honduras, octubre de 2006
- Jose, D; Shanmugaratnan, N. 1993. Traditional homegardens of Kerala: a sustainable human ecosystem. *Agroforestry Systems* 24:203-213
- Nair, P.K.R. 1998. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. *Agroforestry systems*. 38: 223–245.
- Nair, P.K.R.1993. Classification of agroforestry systems. In: PKR, Nair. An introduction to agroforestry. KluwerAcademic. Netherlands. p. 21-53.
- Polania, C; Pla, L y Casanoves, F. 2011. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos en: Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Editado por Fernando Casanoves, Laura Pla y Julio A Di Rienzo. 1 ed. Turrialba, CR: CATIE, 2011. 84 p. Serie técnica. Informe técnico/ CATIE; no.384.
- Rabinowitz, D.; S. Cairns y T. Dillon. 1986. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles, en M. Soulé (ed.), *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, MA, pp. 182-204
- Rapidel, B; Alline, C; Cerdan, C; Meylan, L; de Melo Virginio Filho, E y Avelino, J. 2015. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales en *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales / Montagnini, Florencia... [et al.]*. – 1º ed. – Cali, CO: CIPAV ; Turrialba, CR: CATIE, 2015. 454 p.: il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no. 402)
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es agroforestería? *El Chasqui*. Costa Rica, CATIE 24:5-13
- Escalante, M; Somarriba, E. 2001. Diseño y manejo de cafetales en el occidente de El Salvador. *Agroforestería en las Américas* 8(30):8-16.
- Esquivel MJ; Harvey CA; Finegan B; Casanoves F; Skarpe C. 2008 Effects of pasture management on the natural regeneration of neotropical trees. *J Appl Ecol* 45(1):371–380. doi:10.1111/j.1365-2664.2007.01411.x
- FAO (Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación). 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma, Italia. 346 p. (Informe Principal No. 163).
- Harvey CA; Villanueva C; Esquivel H; Gómez R; Ibrahim M; López M; Martínez J; Muñoz D; Restrepo C; Saénz JC; Villacís J; Sinclair FL. 2011 Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecol Manag* 261(10):1664–1674. doi:10.1016/j.foreco.2010.11.004
- Harvey, C.; Medina, A.; Sánchez, D.; Vilchez, S.; Hernández, B.; Saénz, JC.; Maes, JM.; Casanoves, F.; Sinclair, FL. 2006. Patterns of animal diversity associated with

different forms of tree cover retained in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986-1999.

- Hurlbert, S. H. 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, 52: 577-586.
- Ludwig, J. A. y Reynolds, J. F. 1988. *Statistical ecology*. John Wiley & Sons, New York, 337 pp.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Nair, P.K.R. 1998. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. *Agroforestry systems*. 38: 223–245.
- Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP). 2015. *Informa Anual 2014 MAP* Noruega.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre Orihuela, J; Andrade, HJ; Cerda, R; De Clerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, LA; Ibrahim, M; Krishnamurthy, L; Mena Mosquera, V; Mora Delgado, J; Orozco, L; Scheelje, M; Campos, JJ. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. In Ramachandran Nair, PK; Garrity, D. (Eds.). *Agroforestry: The future of global land use*. The Netherlands, Springer. p. 429-453. (Advances in Agroforestry 9).